

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

AH

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10022527 A**

(43) Date of publication of application: **23.01.98**

(51) Int. Cl

H01L 33/00
// H01L 21/205

(21) Application number: **08188370**

(22) Date of filing: **28.06.96**

(71) Applicant: **TOYODA GOSEI CO LTD**

(72) Inventor:
ASAMI SHINYA
KOIKE MASAYOSHI
KOIDE NORIKATSU
UMEZAKI JUNICHI

**(54) III GROUP NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT
EMITTING ELEMENT**

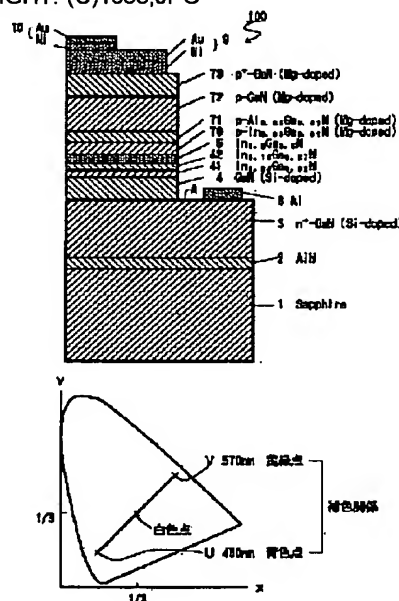
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To emit white light from a single picture element by providing a light emission layer in which lights in mutual complementary color relation on a chromaticity diagram are emitted and making light emitted from a light picking up surface white light.

SOLUTION: The waveform of spectrum of light from a light emitting layer 5 of a light emitting diode 100 has a peak at a blue point U of 450nm and a yellow green point V of 570nm. Thereby, lights which are mutually in complementary color relation on a chromaticity diagram are emitted. Light emission of 450nm is band end light emission of an $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ semiconductor of the light emitting layer 5 and corresponds to light emission by transition of carrier between a donor level by silicon added to an $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ semiconductor of the light emitting layer 5 of 570nm and an acceptor level by zinc. Furthermore, more precise white light emission can be realized by designing an element so that an average value of a chromaticity coordinate of a V point and a chromaticity coordinate of a U point becomes a

coordinate by weighting by brightness of V point light emission and brightness of U point light emission.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-22527

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月23日

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H01L 33/00

H01L 33/00

C

// H01L 21/205

21/205

F

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平8-188370

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 6 月28日

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地

(72) 発明者 浅見 慎也

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 小池 正好

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

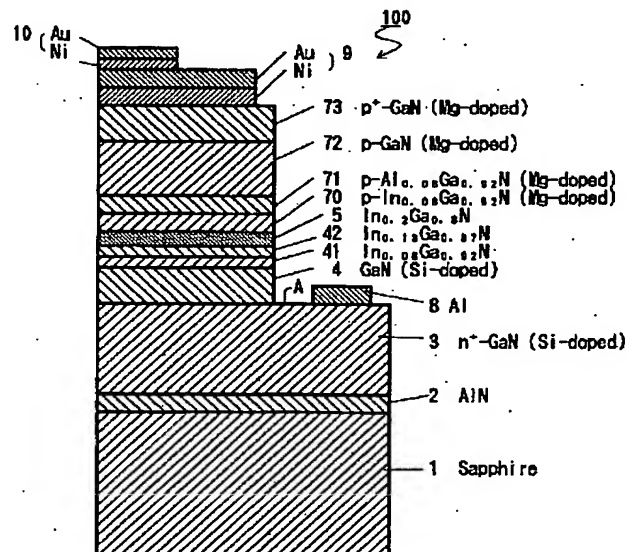
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3 族窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 単一画素で白色発光を得ること。

【解決手段】 10nmの $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ から成る発光層 5 に亜鉛とシリコンが $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ に添加されている。これにより、420nm のバンド端発光と570nm のドナー不純物レベルとアクセプタ不純物レベル間の発光が得られた。単一画素で白色の発光を得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 3族窒化物半導体を用いた発光素子において、

色度図上において、互いに、補色関係にある光を発光する発光層を設け、光取り出し面から放射される光を白色光としたことを特徴とする3族窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 前記補色関係にある光は、前記発光層のバンド端発光に基づく発光と、アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光とで構成されることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 アクセプタ不純物とドナー不純物の濃度は、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項2に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 前記発光層の厚さは、バンド端発光に基づく発光強度と、前記アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光強度とが、略等しくなる厚さであることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 前記発光層におけるアクセプタ不純物とドナー不純物の濃度は、バンド端発光に基づく発光強度と、前記アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光強度とが、略等しくなる濃度であることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項6】 前記3族窒化物半導体は $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{In}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 1$)であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項7】 前記補色関係にある光は、 $x-y$ 色度図上において、各光の各色度座標の明度に重み付けられた平均値が、略、等エネルギー白色光の座標 ($1/3, 1/3$) となるようにしたことを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、白色発光が可能な3族窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来技術】 従来、サファイア基板上に3族窒化物半導体を形成した発光素子が知られている。その発光素子は光の3原色の1つである青色を発光することから、フルカラーディスプレイ等への応用が期待されている。

【0003】 一方、白色は人間の色感覚上、好感を持てる色であり、白色発光の発光ダイオード (LED) の開発が期待されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、従来の発光ダイオードにおいて、白色の発光を得るには、青色LED、赤色LED、緑色LEDの3つのチップを同一ステ

ム上に配置して、各チップから発光する光の混合により白色発光を得ていた。このため、白色を得るためのチップ数が多くなり、製造が複雑になり、製造に時間がかかると共にコストが高くなるという問題が存在した。又、一般に、任意の混色発光のLEDにおいても、3原色の各色を発光するLEDを同一面に配列しなければならず、同様な問題がある。

【0005】 従って、本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、単一画素で白色光を発光するようにすることである。

【0006】

【課題を解決するための手段】 請求項1の発明では、3族窒化物半導体を用いた発光素子において、色度図上において、互いに、補色関係にある光を発光する発光層を設け、光取り出し面から放射される光を白色光とした。これにより、単一画素から白色光を発光させることができる。よって、従来のように、複数チップ、又は、複数画素からの光の混合により任意の色度を得るものではないので、製造が簡単となり、製造コストを削減することができる。

【0007】 請求項2の発明では、補色関係にある光は、発光層のバンド端発光に基づく発光と、アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光とで構成したことで、単一発光層にて、白色光を得ることができる。

【0008】 請求項3の発明では、アクセプタ不純物とドナー不純物の濃度を、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ とした結果、バンド端発光に等しい強度の発光を得ることができる。さらに、請求項4の発明では、発光層の厚さを、バンド端発光に基づく発光強度と、アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光強度とが、略等しくなる厚さとし、請求項5の発明では、発光層におけるアクセプタ不純物とドナー不純物の濃度は、バンド端発光に基づく発光強度と、アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光強度とが、略等しくなる濃度とした結果、単一発光層により、白色光を得ることができる。さらに、請求項6の発明では、3族窒化物半導体を $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{In}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 1$)としたことで、広い範囲の補色関係にある2つの光を発光させることができる。特に、発光層に、InGaIn系の3族窒化物半導体とした場合には、補色関係にある一方の光を420nmの青紫色、他方の色を570nmの黄緑色とすることができる。又、請求項7の発明では、補色関係にある光は、 $x-y$ 色度図上において、各光の各色度座標の明度に重み付けられた平均値が、略、等エネルギー白色光の座標 ($1/3, 1/3$) となるようにしたので、純粋な白色を発光を得ることができる。

【0009】

【発明の実施の形態】 以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。なお本発明は下記実施例に限定され

るものではない。図1は本願実施例の発光素子100全体図を示す。発光素子100は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1上に0.05 μm のAlNバッファ層2が形成されている。

【0010】そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約4.0 μm 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成る高キャリア濃度 n' 層3、膜厚約0.5 μm の電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブのGaNから成る n 層4、膜厚約10nmの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成る n 層41、膜厚約10nmの $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ から成る n 層42、膜厚約10nmで、亜鉛(Zn)と、シリコン(Si)とが、それぞれ、 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ に添加された $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ から成る発光層5、膜厚約10nmの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成るホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の p 層70、膜厚100nmで、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成る p 伝導型のクラッド層71、膜厚約200nm、ホール濃度 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブのGaNから成る第1コンタクト層72、膜厚約50nm、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーブのGaNから成る p' の第2コンタクト層73が形成されている。そして、第2コンタクト層73の上面全体にNi/Auの2重層からなる透明電極9が形成されその透明電極9の隅の部分にNi/Auの2重層からなるボンディングのためのパッド10が形成されている。又、 n' 層3上にはAlから成る電極8が形成されている。

【0011】次に、この構造の半導体素子の製造方法について説明する。上記発光素子100は、有機金属気相成長法(以下MOVPE)による気相成長により製造された。用いられたガスは、アンモニア(NH_3)、キャリアガス(H_2)、トリメチルガリウム($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMG」と記す)、トリメチルアルミニウム($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMA」と記す)、トリメチルインジウム($\text{In}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMI」と記す)、シラン(SiH_4)、ジエチル亜鉛($\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$) (以下、「DEZ」と記す)とシクロペンタジエニルマグネシウム($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (以下「 CP_2Mg 」と記す)である。

【0012】まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄した a 面を主面とし、単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧で H_2 を流速2 liter/分で約30分間反応室に流しながら温度1100 $^\circ\text{C}$ でサファイア基板1をベーキングした。

【0013】次に、温度を400 $^\circ\text{C}$ まで低下させて、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMAを 1.8×10^{-5} モル/分で約90秒間供給してAlNのバッファ層2を約0.05 μm の厚さに形成した。次に、サファイア基板1の温度を1150 $^\circ\text{C}$ に保持し、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 1.7×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 20×10^{-8} モル/分で40分導入

し、膜厚約4.0 μm 、電子濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成る高キャリア濃度 n' 層3を形成した。

【0014】上記の高キャリア濃度 n' 層3を形成した後、続いて温度を1100 $^\circ\text{C}$ に保持し、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 10×10^{-8} モル/分で30分導入し、膜厚約0.5 μm 、電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaNから成る n 層4を形成した。

【0015】その後、サファイア基板1の温度を900 $^\circ\text{C}$ に保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMIを 0.70×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 3×10^{-8} モル/分で3分間導入して、成長速度0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ で、膜厚約10nmの $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ から成る n 層41を形成した。次に、サファイア基板1の温度を860 $^\circ\text{C}$ に保持して、 N_2 又は H_2 、 NH_3 、シランの供給量を一定として、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMIを 1.4×10^{-4} モル/分で3分間導入して、成長速度0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ で、膜厚約10nmの $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ から成る n 層42を形成した。さらに、サファイア基板1の温度を750 $^\circ\text{C}$ に保持して、 N_2 又は H_2 、 NH_3 の供給量を一定として、TMGを 2.0×10^{-5} モル/分、TMIを 0.92×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 0.3×10^{-8} モル/分、DEZを 2×10^{-7} モル/分で1.4分導入して、成長速度0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ で、膜厚約10nmの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成る発光層5を形成した。次に、サファイア基板1の温度を900 $^\circ\text{C}$ に保持し、 N_2 又は H_2 、 NH_3 の供給量を変化させることなく、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMIを 0.7×10^{-4} モル/分、 CP_2Mg を 2×10^{-7} モル/分で3分間導入して、成長速度0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ で、膜厚約10nmの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成る p 層70を形成した。

【0016】続いて、温度を1100 $^\circ\text{C}$ に保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMAを 0.47×10^{-5} モル/分、及び、 CP_2Mg を 2×10^{-7} モル/分で20分間導入し、膜厚約100nmのマグネシウム(Mg)ドーブの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成るクラッド層71を形成した。クラッド層71のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。この状態では、クラッド層71は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0017】次に、温度を1100 $^\circ\text{C}$ に保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、及び、 CP_2Mg を 2×10^{-8} モル/分で23分間導入し、膜厚約200nmのマグネシウム(Mg)ドーブのGaNから成る第1コンタクト層72を形成した。第1コンタクト層72のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。この状態では、第1コンタクト層72は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0018】次に、温度を1100 $^\circ\text{C}$ に保持し、 N_2 又は H_2 を

20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMG を 0.5×10^{-4} モル/分、及び、 CP_2Mg を 4×10^{-3} モル/分で10分間導入し、膜厚約50nmのマグネシウム(Mg)ドーパのGaN から成る p^+ の第2コンタクト層73を形成した。第2コンタクト層73のマグネシウム濃度は $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ である。この状態では、第2コンタクト層73は、まだ、抵抗率 $10^5 \Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0019】次に、電子線照射装置を用いて、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71に様に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧約10KV、資料電流 $1 \mu\text{A}$ 、ビームの移動速度0.2mm/sec、ビーム径 $60 \mu\text{m}$ 、真空度 $5.0 \times 10^{-6} \text{Torr}$ である。この電子線の照射により、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71は、それぞれ、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、抵抗率 $2 \Omega\text{cm}$ 、 $1 \Omega\text{cm}$ 、 $0.7 \Omega\text{cm}$ の p 伝導型半導体となった。このようにして多層構造のウエハが得られた。

【0020】次に、第2コンタクト層73の上に、フォトリソグラフにより、金属マスク層を形成し、金属マスク層によって覆われていない部位の第2コンタクト層73、第1コンタクト層72、クラッド層71、発光層5、 n 層42、 n 層41、 n 層4を BCl_3 ガスで供給しドライエッチングした後、Arでドライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度 n^+ 層3に対する電極取出しのための孔Aが形成された。その後、金属マスク層11を除去した。

【0021】次に、様にNi/Auの2層を蒸着し、フォトリソの塗布、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て、第2コンタクト層73の上に透明電極9を形成した。そして、その透明電極9の一部にNi/Auの2層を蒸着してパッド10を形成した。一方、 n^+ 層3に対しては、アルミニウムを蒸着して電極8を形成した。その後、上記のごとく処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図1に示す構造の発光ダイオードを得た。

【0022】この構造の発光ダイオード100の発光層5からの光のスペクトルは図2に示すようになり、420nmと570nmにピークを有する波形となった。これにより、図3に示すような色度図上において、互いに、補色関係にある光が放出されているのが分かる。420nmの発光は、発光層5の $\text{In}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 半導体のバンド端発光に当たり、570nmの発光は、発光層5の $\text{In}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 半導体に添加されたシリコンによるドナーレベルと亜鉛によるアクセプタレベル間のキャリアの遷移による発光に相当する。

【0023】尚、より精密な白色発光を得るためには、図3に示すように、V点発光の明度とU点発光の明度とで重み付けして、V点の色度座標とU点の色度座標とを平均した値が座標(1/3, 1/3)になるように、設計すれば良い。

【0024】即ち、

$$\left\{ (x_v, y_v) \cdot M_v + (x_u, y_u) \cdot M_u \right\} / (M_v + M_u) = (1/3, 1/3)$$

但し、 (x_v, y_v) はV点の色度座標、 (x_u, y_u) はU点の色度座標、 M_v 、 M_u は、それぞれ、V点、U点の発光の明度である。又、V点、U点の発光輝度を I_v 、 I_u とする時に、 $M_v = I_v / y_v$ 、 $M_u = I_u / y_u$ でもある。

【0025】発光層5の厚さにより、バンド端発光の強度を制御でき、ドナー不純物とアクセプタ不純物の濃度により、不純物レベル間の発光強度を制御できる。

【0026】上記の実施例では、発光波長を420nmと570nmに設定したが、上記の数1式の関係が満たされるならば、他の波長との組み合わせでも、純粋な白色光を得ることができる。

【0027】尚、上記実施例では、発光層5の厚さを10nmとしているが、発光層5の厚さは、1~100nmの範囲でバンド端発光と不純物レベル間発光との強度を純粋な白色が得られる強度とすることができた。又、発光層5は単層としているが、単一又は多重の量子井戸構造としても良い。又、亜鉛とシリコンとの添加量は、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 範囲で不純物レベル間の遷移による発光が得られる。

【0028】上記実施例では、サファイア基板を用いたが SiC 、 MgAl_2O_4 等を用いることができる。又、バッファ層には AlN を用いたが AlGaIn 、 GaIn 、 InAlGaIn 等を用いることができる。さらに、 n 層4には、 GaIn を用いているが、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 等の3族窒化物半導体を用いることができる。同様に、クラッド層71、第1コンタクト層72、第2コンタクト層73も、任意混晶比の $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 等の3族窒化物半導体を用いることができる。又、アクセプタ不純物元素には亜鉛の他、2族元素又は、4族元素が、ドナー不純物元素にはシリコンの他、4族元素、6族元素を用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体的な実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図2】同実施例の発光ダイオードの発光層から光のスペクトルを表した測定図。

【図3】同実施例の発光ダイオードの色度の合成を示した説明図。

【符号の説明】

100…発光ダイオード

1…サファイア基板

2…バッファ層

3…高キャリア濃度 n^+ 層

4, 41, 42… n 層

5…発光層

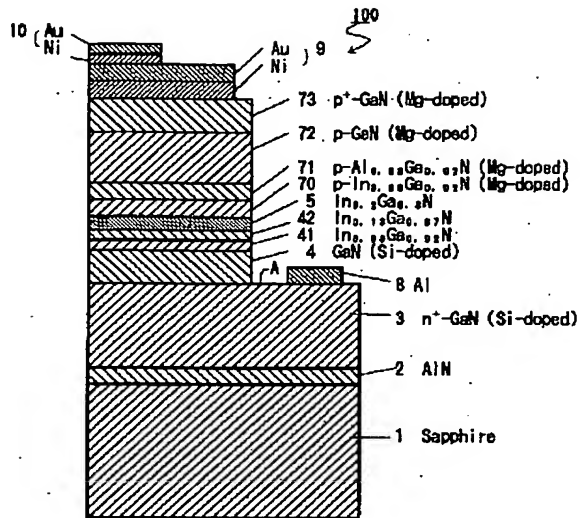
71…クラッド層

72…第1コンタクト層

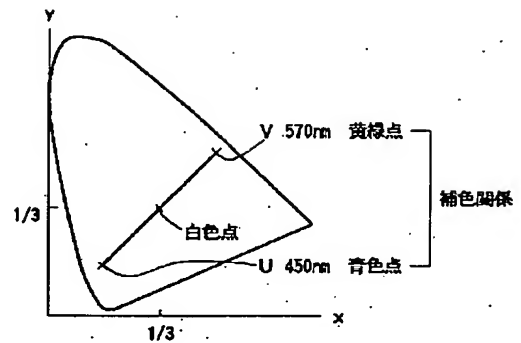
7 2...第2コンタクト層

9...透明電極

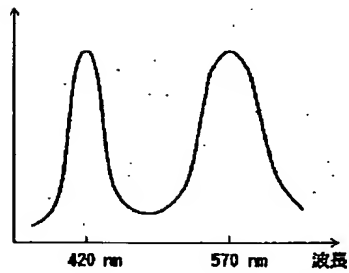
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(72)発明者 小出 典克
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 梅崎 潤一
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

JAPANESE

[JP,10-022527,A]

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART TECHNICAL PROBLEM MEANS DESCRIPTION OF
DRAWINGS DRAWINGS

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

 CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] 3 group nitride semiconductor light emitting device characterized by making into the white light light which prepares a luminous layer which emits light mutually in light which has a complementary color relation, and is emitted from an optical ejection side on a chromaticity diagram in a light emitting device using 3 group nitride semiconductor.

[Claim 2] Light which has said complementary color relation is 3 group nitride semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by consisting of luminescence based on band edge luminescence of said luminous layer, and luminescence based on transition of a carrier between acceptor level and donor level.

[Claim 3] concentration of acceptor impurity and a donor impurity -- 1×10^{17} to $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ it is -- 3 group nitride semiconductor light emitting device according to claim 2 characterized by things.

[Claim 4] Thickness of said luminous layer is 3 group nitride semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by luminescence reinforcement based on band edge luminescence and luminescence reinforcement based on transition of a carrier between said acceptor level and donor level being the thin thickness which spreads abbreviation etc.

[Claim 5] Concentration of acceptor impurity in said luminous layer and a donor impurity is 3 group nitride semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by luminescence reinforcement based on band edge luminescence and luminescence reinforcement based on transition of a carrier between said acceptor level and donor level being the becoming concentration which spreads abbreviation etc.

[Claim 6] Said 3 group nitride semiconductor is 3 group nitride semiconductor light emitting device according to claim 1 to 5 characterized by being $\text{yIn}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_1\text{-yN}$ ($0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$).

[Claim 7] Light which has said complementary color relation is 3 group nitride semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by making it eclipse ***** with weight serve as a coordinate (1/3, 1/3) of abbreviation and an equi-energy spectrum at lightness of each chromaticity coordinate of each light on xy chromaticity diagram.

 [Translation done.]

JAPANESE

[JP,10-022527,A]

<u>CLAIMS</u>	<u>DETAILED DESCRIPTION</u>	<u>TECHNICAL FIELD</u>	<u>PRIOR ART</u>	<u>TECHNICAL PROBLEM</u>	<u>MEANS</u>	<u>DESCRIPTION OF</u>
<u>DRAWINGS</u>	<u>DRAWINGS</u>					

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to 3 group nitride semiconductor light emitting device in which white luminescence is possible.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, the light emitting device in which 3 group nitride semiconductor was formed on silicon on sapphire is known. Since the light emitting device emits light in the blue which is one in three primary colors of the light, the application to a full color display etc. is expected.

[0003] On the other hand, white is a likable color on human being's color sensation, and development of the light emitting diode (LED) of white luminescence is expected.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the conventional light emitting diode, in order to have obtained white luminescence, three chips, blue LED, red LED, and green LED, have been arranged on the same stem, and white luminescence had been obtained by mixing of the light which emits light from each chip. For this reason, the number of chips for obtaining white increased, manufacture became complicated, and while manufacture took time amount, the problem that cost became high existed. Moreover, generally also in LED of color mixture luminescence of arbitration, LED which emits light in each color in three primary colors must be arranged to the same field, and there is same problem.

[0005] Therefore, this invention is accomplishing in order to solve the above-mentioned technical problem, and making the white light emit light by the single pixel.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In invention of claim 1, in a light emitting device which used 3 group nitride semiconductor, a luminous layer which emits light mutually in light which has a complementary color relation was prepared on a chromaticity diagram, and light emitted from an optical ejection side was made into the white light. Thereby, the white light can be made to emit light from a single pixel. Therefore, like before, since a chromaticity of arbitration is not obtained by two or more chips or mixing of light from two or more pixels, manufacture becomes easy and a manufacturing cost can be reduced.

[0007] In invention of claim 2, light which has a complementary color relation is having constituted from luminescence based on band edge luminescence of a luminous layer, and luminescence based on transition of a carrier between acceptor level and donor level, and can acquire the white light by single luminous layer.

[0008] In invention of claim 3, as a result of setting concentration of acceptor impurity and a donor impurity to 1×10^{17} to 1×10^{21} /cm³, luminescence of reinforcement equal to band edge luminescence can be obtained. Furthermore, luminescence reinforcement based on [by invention of claim 4] band edge luminescence for thickness of a luminous layer, Luminescence reinforcement based on transition of a carrier between acceptor level and donor level considers as thin thickness which spreads abbreviation etc. in invention of claim 5 Concentration of acceptor impurity in a luminous layer and a donor impurity can acquire the white light by single luminous layer, as a result of luminescence reinforcement based on band edge luminescence and luminescence reinforcement based on transition of a carrier between acceptor level and donor level considering as becoming concentration which spreads abbreviation etc. Furthermore, two light which has a complementary color relation of a large range can be made to emit light by invention of claim 6 by having set 3 group nitride semiconductor to $y\text{In}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_1\text{-yN}$ ($0 \leq x \leq 1$; $0 \leq y \leq 1$). Especially, it is InGaN to a luminous layer. When it considers as 3 group nitride semiconductor of a system, while has a complementary color relation, and it is 420nm about light. It is 570nm about a purple-blue color and a color of another side. It can consider as yellowish green. Moreover, in invention of claim 7, since it was made for eclipse ***** with weight to serve as a coordinate (1/3, 1/3) of abbreviation and an equi-energy spectrum on xy chromaticity diagram at lightness of each chromaticity coordinate of each light, light which has a complementary color relation can obtain luminescence for pure white.

[0009]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, this invention is explained based on a concrete example. In addition, this invention is not limited to the following example. Drawing 1 is the light emitting device 100 of this application example. General drawing is shown. Light emitting device 100 It has silicon on sapphire 1 and is 0.05-micrometer AlN on the silicon on sapphire 1. The buffer layer 2 is formed.

[0010] On the buffer layer 2, it is thickness 4.0 [about] to order. μm , silicon (Si) dope GaN of 2×10^{18} /of concentration of electrons cm^{-3} from -- high carrier concentration n^+ which changes A layer 3 and thickness 0.5 [about] GaN of the silicon (Si) dope of 5×10^{17} /of concentration of electrons cm^{-3} of μm from -- n layer 4 and about 10nm of thickness which changes -- $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ since -- n layer 41 and $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ of about 10nm of thickness which changes from -- by n layer 42 and about 10nm of thickness which changes Zinc (Zn) and silicon (Si), respectively $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ added by 1×10^{20} -/ cm^3 since -- $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ of a luminous layer 5 and about 10nm of thickness which changes from -- hole concentration which changes 2×10^{17} -/ cm^3 , Magnesium (Mg) Concentration By p layer 70 of 5×10^{19} -/ cm^3 , and thickness 100 nm hole concentration 2×10^{17} -/ cm^3 , Magnesium (Mg) concentration aluminum $0.08\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ of 5×10^{19} -/ cm^3 dope from -- the cladding layer 71 of p conduction type which changes, about 200 thickness nm, and hole concentration Magnesium (Mg) of 3×10^{17} -/ cm^3 Concentration GaN of 5×10^{19} -/ cm^3 dope -- since -- the 1st contact layer 72 which changes, about 50nm of thickness, and hole concentration Magnesium (Mg) of 6×10^{17} -/ cm^3 Concentration GaN of 1×10^{20} -/ cm^3 dope from -- p^+ which changes The 2nd contact layer 73 is formed. And it is nickel/Au to the whole upper surface of the 2nd contact layer 73. The pad 10 for the bonding which the transparent electrode 9 which consists of a double layer is formed, and becomes the portion of the corner of the transparent electrode 9 from the double layer of nickel/Au is formed. Moreover, the electrode 8 which consists of aluminum is formed on the n^+ layer 3.

[0011] Next, the manufacture method of the semiconductor device of this structure is explained. The above-mentioned light emitting device 100 It was manufactured with the vapor growth by metal-organic chemical vapor deposition (henceforth, MOVPE). The used gas Ammonia (NH_3) and carrier gas (H_2), trimethylgallium ($\text{Ga}_3(\text{CH}_3)$) (it is described as "TMG" below) trimethylaluminum (aluminum $3(\text{CH}_3)$) (it is described as "TMA" below) trimethylindium ($\text{In}_3(\text{CH}_3)$) (it is described as "TMI" below) They are a silane (SiH_4), diethylzinc ($\text{Zn}_2(\text{C}_2\text{H}_5)$), and magnesium cyclopentadienyl ($\text{Mg}_2(\text{C}_5\text{H}_5)$) (it is described as "CP2Mg" below) (it is hereafter described as "DEZ").

[0012] First, the a -th page washed by organic washing and heat treatment is made into a principal plane, and it is MOVPE about the silicon on sapphire 1 of a single crystal. The susceptor laid in the reaction chamber of equipment is equipped. Next, it was ordinary pressure, and H_2 was baked by part for rate-of-flow 2 liter/, and silicon on sapphire 1 was baked at the temperature of 1100 degrees C with the sink to the reaction chamber for about 30 minutes.

[0013] Next, temperature It is made to fall to 400 degrees C, and they are a part for 20 liter/, and NH_3 about H_2 . A part for 10 liter/, and TMA It supplies for about 90 seconds by part for 1.8×10^{-5} -mol/, and is AlN. The buffer layer 2 was formed in the thickness of about 0.05 micrometers. The temperature of silicon on sapphire 1 is held at 1150 degrees C. H_2 A part for next, 20liter(s)/, NH_3 A part for 10 liter/, and TMG A part for 1.7×10^{-4} -mol/, It is 0.86 ppm by H_2 gas. The diluted silane is introduced by part for 20×10^{-8} -mol/for 40 minutes. thickness 4.0 [about] μm and concentration of electrons 1×10^{18} -/ cm^3 and silicon concentration Silicon (Si) dope GaN of 4×10^{18} -/ cm^3 from -- high carrier concentration n^+ which changes The layer 3 was formed.

[0014] Above-mentioned high carrier concentration n^+ After forming a layer 3, it is 1100-degreeC about temperature continuously. It holds. They are a part for 20 liter/, and NH_3 about H_2 . A part for 10 liter/, and TMG A part for 0.5×10^{-4} -mol/, H_2 gas -- 0.86 ppm the diluted silane -- a part for 10×10^{-9} -mol/-- 30 minutes -- introducing -- thickness 0.5 [about] μm and concentration of electrons 5×10^{17} -/ cm^3 and silicon concentration Silicon (Si) dope GaN of 1×10^{18} -/ cm^3 from -- n layer 4 which changes was formed.

[0015] The temperature of silicon on sapphire 1 is held to 900 **. N_2 or H_2 A part for then, 20 liter/, NH_3 A part for 10 liter/, and TMG 0.5×10^{-4} -mol a part for /and TMI It is 0.86 ppm by part for 0.70×10^{-4} -mol/, and H_2 gas. Diluted silane It introduces for 3 minutes by part for 3×10^{-9} -mol/. growth rate 0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ of about 10nm of thickness from -- n layer 41 which changes was formed. next -- holding the temperature of silicon on sapphire 1 to 860 **, and being fixed in the amount of supply of N_2 or H_2 and NH_3 , and a silane -- carrying out -- TMG 0.5×10^{-4} -mol a part for /and TMI a part for 1.4×10^{-4} -mol/-- for 3 minutes -- introducing -- growth rate 0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ of about 10nm of thickness from -- n layer 42 which changes was formed. Furthermore, the temperature of silicon on sapphire 1 is held to 750 **, and it is N_2 , or H_2 and NH_3 . The amount of supply is set constant. TMG 2.0×10^{-5} -mol a part for /and TMI A part for 0.92×10^{-4} -mol/, H_2 gas -- 0.86 ppm the diluted silane -- 0.3×10^{-8} -mol a part for /and DEZ a part for 2×10^{-7} -mol/-- 1.4 a part -- introducing -- growth rate 0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ -- $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ of about 10nm of thickness from -- the luminous layer 5 which changes was formed. Next, the temperature of silicon on sapphire 1 is held to 900 **, and it is N_2 , or H_2 and NH_3 . Without changing the amount of supply TMG 0.5×10^{-4} -mol a part for /and TMI A part for /, and 0.7×10^{-4} -mol CP2Mg a part for 2×10^{-7} -mol/-- for 3 minutes -- introducing -- growth rate 0.1 $\mu\text{m}/\text{h}$ $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ of about 10nm of thickness from -- p layer 70 which changes was formed.

[0016] Temperature is held at 1100 degrees C. N_2 or H_2 A part for then, 20 liter/, NH_3 A part for 10 liter/, and TMG A part for 0.5×10^{-4} -mol/, TMA A part for /, and 0.47×10^{-5} -mol CP2Mg a part for 2×10^{-7} -mol/-- for 20 minutes -- introducing -- aluminum $0.08\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ of the magnesium (Mg) dope of about 100 thickness nm from -- the cladding layer 71 which changes was

formed. Magnesium concentration of a cladding layer 71 It is $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$. In this condition, a cladding layer 71 is still resistivity 108. It is an insulating material more than omegacm.

[0017] next, temperature -- 1100 degrees C -- holding -- N₂ or H₂ -- a part for 20 liter/, and NH₃ A part for 10 liter/, and TMG A part for /, and 0.5×10^{-4} -mol CP2Mg a part for 2×10^{-9} -mol/-- for 23 minutes -- introducing -- GaN of the magnesium (Mg) dope of about 200 thickness nm from -- the 1st contact layer 72 which changes was formed. Magnesium concentration of the 1st contact layer 72 It is $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$. In this condition, the 1st contact layer 72 is still resistivity 108. It is an insulating material more than omegacm.

[0018] next, temperature -- 1100 degrees C -- holding -- N₂ or H₂ -- a part for 20 liter/, and NH₃ A part for 10 liter/, and TMG A part for /, and 0.5×10^{-4} -mol CP2Mg a part for 4×10^{-9} -mol/-- for 10 minutes -- introducing -- GaN of the magnesium (Mg) dope of about 50nm of thickness from -- p+ which changes The 2nd contact layer 73 was formed. Magnesium concentration of the 2nd contact layer 73 It is $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$. In this condition, the 2nd contact layer 73 is still resistivity 108. It is an insulating material more than omegacm.

[0019] Next, the electron ray was uniformly irradiated at the 2nd contact layer 73, the 1st contact layer 72, and the cladding layer 71 using electron-beam-irradiation equipment. The exposure conditions of an electron ray are the acceleration voltage of about 10kV, data current 1microA, passing speed 0.2 mm/sec of a beam, beam diameter 60micrometerphi, and degree of vacuum 5.0×10^{-5} Torr. By the exposure of this electron ray, the 2nd contact layer 73, the 1st contact layer 72, and a cladding layer 71 are hole concentration, respectively. $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$, $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$, $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$, resistivity 2-ohmcm and 1 It became p conduction type semiconductor of omegacm and 0.7-ohmcm. Thus, the wafer of multilayer structure was obtained.

[0020] Next, the metal mask layer was formed by photograph RISOGURAFU on the 2nd contact layer 73, and after supplying and carrying out dry etching of 4 [with a layers / 41 or n layers / of with a layers / 42 or n layers / of the 2nd contact layer 73 of the part which is not covered with a metal mask layer, the 1st contact layer 72, a cladding layer 71, and 5 or n layers / of luminous layers] by BCl₃ gas, dry etching was carried out by Ar. At this production process, it is high carrier concentration n+. The hole A for electrode drawing to a layer 3 was formed. Then, the metal mask layer 11 was removed.

[0021] Next, it is nickel/Au uniformly. Two-layer was vapor-deposited and the transparent electrode 9 was formed on the 2nd contact layer 73 through spreading of a photoresist, the photolithography production process, and the etching production process. And it is nickel/Au in a part of the transparent electrode 9. Two-layer was vapor-deposited and the pad 10 was formed. On the other hand, it is n+. To the layer 3, aluminum was vapor-deposited and the electrode 8 was formed. Then, like the above, the processed wafer was cut for every element and obtained the light emitting diode of the structure shown in [drawing 1](#).

[0022] Light emitting diode 100 of this structure The spectrum of the light from a luminous layer 5 came to be shown in [drawing 2](#), and became the wave which has a peak in 420 nm and 570 nm. Thereby, it turns out mutually on a chromaticity diagram as shown in [drawing 3](#) that the light which has a complementary color relation is emitted. 420 Luminescence of nm is In_{0.20}Ga_{0.80}N of a luminous layer 5. It is in charge of band edge luminescence of a semiconductor, and luminescence of 570 nm is In_{0.20}Ga_{0.80}N of a luminous layer 5. It is equivalent to luminescence by transition of the carrier between the donor level by the silicon added by the semiconductor, and the acceptor level by zinc.

[0023] In addition, what is necessary is to carry out weighting by the lightness of V point luminescence, and the lightness of U point luminescence, and just to design so that the value which averaged the chromaticity coordinate of V points and the chromaticity coordinate of U points may become a coordinate (1/3, 1/3) as shown in [drawing 3](#) in order to obtain more precise white luminescence.

[0024] Namely, [Equation 1] $\{(xV \text{ and } yV) - MV + (xU \text{ and } yU) \text{ and } MU\} / (MV + MU) = (1/3, 1/3)$ -- however (xV and yV) The chromaticity coordinate of V points (xU and yU), The chromaticity coordinate of U points, MV, and MU They are V points and the lightness of luminescence of U points, respectively. Moreover, they are IV and IU about the luminescence brightness of V points and U points. When carrying out, they are $MV = IV / yV$, $MU = IU / yU$. But it is.

[0025] The reinforcement of band edge luminescence can be controlled by thickness of a luminous layer 5, and the luminescence reinforcement between impurity level can be controlled by concentration of a donor impurity and acceptor impurity.

[0026] At the above-mentioned example, it is 420nm about luminescence wavelength. 570nm Although set up, if the above-mentioned relation of several 1 formula is filled, the pure white light can be acquired also in combination with other wavelength.

[0027] In addition, although thickness of a luminous layer 5 is set to 10nm in the above-mentioned example, the thickness of a luminous layer 5 is 1-100nm. Reinforcement of band edge luminescence and luminescence between impurity level was able to be made into the reinforcement from which pure white is obtained in the range. Moreover, although the luminous layer 5 is considering as the monolayer, it is good also as a single or multiplex quantum well structure. Moreover, as for the addition of zinc and silicon, luminescence by transition between impurity level is obtained in the 1×10^{17} to $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ range.

[0028] although silicon on sapphire was used in the above-mentioned example -- SiC and MgAl₂O₄ etc. -- it can use. moreover -- a buffer layer -- AlN although used -- AlGaIn, GaN, and InAlGaIn etc. -- it can use. Furthermore, in 4, it is GaN n layers. Although used, 3 group nitride semiconductors, such as In_xGa_{1-x}Al_{1-x-y}N, can be used. Similarly, a cladding layer 71, the 1st contact layer 72, and the 2nd contact layer 73 can also use 3 group nitride semiconductors, such as In_xGa_{1-x}Al_{1-x-y}N of an arbitration mixed-

crystal ratio. Moreover, others and 2 group element or 4 group element can use 4 group element besides silicon, and 6 group element for an acceptor impurity element at a donor impurity element. [zinc]

[Translation done.]

JAPANESE

[JP,10-022527,A]

CLAIMS DETAILED DESCRIPTION TECHNICAL FIELD PRIOR ART TECHNICAL PROBLEM MEANS DESCRIPTION OF
DRAWINGS DRAWINGS

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The block diagram having shown the configuration of the light emitting diode concerning the concrete example of this invention.

[Drawing 2] Measurement drawing which expressed the spectrum of light from the luminous layer of the light emitting diode of this example.

[Drawing 3] Explanatory drawing having shown composition of the chromaticity of the light emitting diode of this example.

[Description of Notations]

100 -- Light emitting diode

1 -- Silicon on sapphire

2 -- Buffer layer

3 -- High carrier concentration n+ Layer

4, 41, 42--n layers

5 -- Luminous layer

71 -- Cladding layer

72 -- The 1st contact layer

72 -- The 2nd contact layer

9 -- Transparent electrode

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-22527

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月23日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 33/00

技術表示箇所

C

F

// H 0 1 L 21/205

21/205

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 5 頁)

(21) 出願番号

特願平8-188370

(22) 出願日

平成 8 年 (1996) 6 月 28 日

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地

(72) 発明者 浅見 慎也

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 小池 正好

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1
番地 豊田合成株式会社内

(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

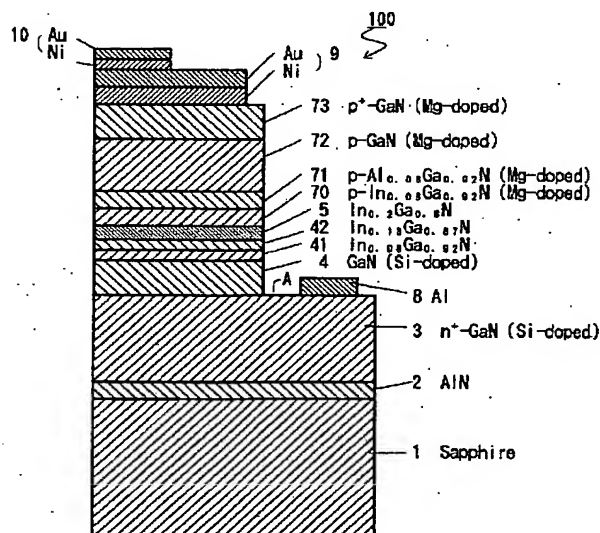
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3 族窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 単一画素で白色発光を得ること。

【解決手段】 10 nm の $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ から成る発光層 5 に亜鉛とシリコンが $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ に添加されている。これにより、420 nm のバンド端発光と 570 nm のドナー不純物レベルとアクセプタ不純物レベル間の発光が得られた。単一画素で白色の発光を得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】3族窒化物半導体を用いた発光素子において、色度図上において、互いに、補色関係にある光を発光する発光層を設け、光取り出し面から放射される光を白色光としたことを特徴とする3族窒化物半導体発光素子。

【請求項2】前記補色関係にある光は、前記発光層のバンド端発光に基づく発光と、アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光とで構成されることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項3】アクセプタ不純物とドナー不純物の濃度は、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項2に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項4】前記発光層の厚さは、バンド端発光に基づく発光強度と、前記アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光強度とが、略等しくなる厚さであることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項5】前記発光層におけるアクセプタ不純物とドナー不純物の濃度は、バンド端発光に基づく発光強度と、前記アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光強度とが、略等しくなる濃度であることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項6】前記3族窒化物半導体は $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 1$)であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の3族窒化物半導体発光素子。

【請求項7】前記補色関係にある光は、 x - y 色度図上において、各光の各色度座標の明度に重み付けられた平均値が、略、等エネルギー白色光の座標 ($1/3, 1/3$) となるようにしたことを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、白色発光が可能な3族窒化物半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来技術】従来、サファイア基板上に3族窒化物半導体を形成した発光素子が知られている。その発光素子は光の3原色の1つである青色を発光することから、フルカラーディスプレイ等への応用が期待されている。

【0003】一方、白色は人間の色感覚上、好感を持てる色であり、白色発光の発光ダイオード(LED)の開発が期待されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、従来の発光ダイオードにおいて、白色の発光を得るには、青色LED、赤色LED、緑色LEDの3つのチップを同一ステ

ム上に配置して、各チップから発光する光の混合により白色発光を得ていた。このため、白色を得るためのチップ数が多くなり、製造が複雑になり、製造に時間がかかると共にコストが高くなるという問題が存在した。又、一般に、任意の混色発光のLEDにおいても、3原色の各色を発光するLEDを同一面に配列しなければならず、同様な問題がある。

【0005】従って、本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、単一画素で白色光を発光するようにすることである。

【0006】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明では、3族窒化物半導体を用いた発光素子において、色度図上において、互いに、補色関係にある光を発光する発光層を設け、光取り出し面から放射される光を白色光とした。これにより、単一画素から白色光を発光させることができる。よって、従来のように、複数チップ、又は、複数画素からの光の混合により任意の色度を得るものではないので、製造が簡単となり、製造コストを削減することができる。

【0007】請求項2の発明では、補色関係にある光は、発光層のバンド端発光に基づく発光と、アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光とで構成したことで、単一発光層にて、白色光を得ることができる。

【0008】請求項3の発明では、アクセプタ不純物とドナー不純物の濃度を、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ とした結果、バンド端発光に等しい強度の発光を得ることができる。さらに、請求項4の発明では、発光層の厚さを、バンド端発光に基づく発光強度と、アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光強度とが、略等しくなる厚さとし、請求項5の発明では、発光層におけるアクセプタ不純物とドナー不純物の濃度は、バンド端発光に基づく発光強度と、アクセプタ準位とドナー準位との間のキャリアの遷移に基づく発光強度とが、略等しくなる濃度とした結果、単一発光層により、白色光を得ることができる。さらに、請求項6の発明では、3族窒化物半導体を $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 1$)としたことで、広い範囲の補色関係にある2つの光を発光させることができる。特に、発光層に、InGaN系の3族窒化物半導体とした場合には、補色関係にある一方の光を420nmの青紫色、他方の色を570nmの黄緑色とすることができる。又、請求項7の発明では、補色関係にある光は、 x - y 色度図上において、各光の各色度座標の明度に重み付けられた平均値が、略、等エネルギー白色光の座標 ($1/3, 1/3$) となるようにしたので、純粋な白色を発光を得ることができる。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。なお本発明は下記実施例に限定され

るものではない。図1は本願実施例の発光素子100 全体図を示す。発光素子100 は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1上に $0.05\mu\text{m}$ のAlN バッファ層2が形成されている。

【0010】そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約 $4.0\mu\text{m}$ 、電子濃度 $2\times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaN から成る高キャリア濃度 n^+ 層3、膜厚約 $0.5\mu\text{m}$ の電子濃度 $5\times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブのGaN から成る n 層4、膜厚約 10nm の $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成る n 層41、膜厚約 10nm の $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ から成る n 層42、膜厚約 10nm で、亜鉛(Zn)と、シリコン(Si)とが、それぞれ、 $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ に添加された $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ から成る発光層5、膜厚約 10nm の $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成るホール濃度 $2\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5\times 10^{19}/\text{cm}^3$ の p 層70、膜厚 100nm で、ホール濃度 $2\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5\times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブの $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成る p 伝導型のクラッド層71、膜厚約 200nm 、ホール濃度 $3\times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $5\times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブのGaN から成る第1コンタクト層72、膜厚約 50nm 、ホール濃度 $6\times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーブのGaN から成る p^+ の第2コンタクト層73が形成されている。そして、第2コンタクト層73の上面全体にNi/Auの2重層からなる透明電極9が形成されその透明電極9の隅の部分にNi/Auの2重層からなるボンディングのためのパッド10が形成されている。又、 n^+ 層3上にはAlから成る電極8が形成されている。

【0011】次に、この構造の半導体素子の製造方法について説明する。上記発光素子100 は、有機金属気相成長法(以下MOVPE)による気相成長により製造された。用いられたガスは、アンモニア(NH_3)、キャリアガス(H_2)、トリメチルガリウム($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMG」と記す)、トリメチルアルミニウム($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMA」と記す)、トリメチルインジウム($\text{In}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMI」と記す)、シラン(SiH_4)、ジエチル亜鉛($\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$) (以下、「DEZ」と記す)とシクロペンタジエニルマグネシウム($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (以下「 CP_2Mg 」と記す)である。

【0012】まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とし、単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧で H_2 を流速2 liter/分で約30分間反応室に流しながら温度 1100°C でサファイア基板1をベーキングした。

【0013】次に、温度を 400°C まで低下させて、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMAを 1.8×10^{-5} モル/分で約90秒間供給してAlNのバッファ層2を約 $0.05\mu\text{m}$ の厚さに形成した。次に、サファイア基板1の温度を 1150°C に保持し、 H_2 を20liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 1.7×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 20×10^{-8} モル/分で40分導入

し、膜厚約 $4.0\mu\text{m}$ 、電子濃度 $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $4\times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaN から成る高キャリア濃度 n^+ 層3を形成した。

【0014】上記の高キャリア濃度 n^+ 層3を形成した後、続いて温度を 1100°C に保持し、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 10×10^{-9} モル/分で30分導入し、膜厚約 $0.5\mu\text{m}$ 、電子濃度 $5\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドーブGaN から成る n 層4を形成した。

【0015】その後、サファイア基板1の温度を 900°C に保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMIを 0.70×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 3×10^{-9} モル/分で3分間導入して、成長速度 $0.1\mu\text{m/h}$ で、膜厚約 10nm の $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成る n 層41を形成した。次に、サファイア基板1の温度を 860°C に保持して、 N_2 又は H_2 、 NH_3 、シランの供給量を一定として、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMIを 1.4×10^{-4} モル/分で3分間導入して、成長速度 $0.1\mu\text{m/h}$ で、膜厚約 10nm の $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ から成る n 層42を形成した。さらに、サファイア基板1の温度を 750°C に保持して、 N_2 又は H_2 、 NH_3 の供給量を一定として、TMGを 2.0×10^{-5} モル/分、TMIを 0.92×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 0.3×10^{-8} モル/分、DEZを 2×10^{-7} モル/分で1.4分導入して、成長速度 $0.1\mu\text{m/h}$ で、膜厚約 10nm の $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ から成る発光層5を形成した。次に、サファイア基板1の温度を 900°C に保持し、 N_2 又は H_2 、 NH_3 の供給量を変化させることなく、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMIを 0.7×10^{-4} モル/分、 CP_2Mg を 2×10^{-7} モル/分で3分間導入して、成長速度 $0.1\mu\text{m/h}$ で、膜厚約 10nm の $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成る p 層70を形成した。

【0016】続いて、温度を 1100°C に保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMAを 0.47×10^{-5} モル/分、及び、 CP_2Mg を 2×10^{-7} モル/分で20分間導入し、膜厚約 100nm のマグネシウム(Mg)ドーブの $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成るクラッド層71を形成した。クラッド層71のマグネシウム濃度は $5\times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。この状態では、クラッド層71は、まだ、抵抗率 $10^8\Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0017】次に、温度を 1100°C に保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、及び、 CP_2Mg を 2×10^{-9} モル/分で23分間導入し、膜厚約 200nm のマグネシウム(Mg)ドーブのGaN から成る第1コンタクト層72を形成した。第1コンタクト層72のマグネシウム濃度は $5\times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。この状態では、第1コンタクト層72は、まだ、抵抗率 $10^8\Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0018】次に、温度を 1100°C に保持し、 N_2 又は H_2 を

20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMG を 0.5×10^{-4} モル/分、及び、 CP_2Mg を 4×10^{-9} モル/分で10分間導入し、膜厚約50nmのマグネシウム(Mg)ドーパのGaN から成る p^+ の第2コンタクト層73を形成した。第2コンタクト層73のマグネシウム濃度は $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ である。この状態では、第2コンタクト層73は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega\text{cm}$ 以上の絶縁体である。

【0019】次に、電子線照射装置を用いて、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71に様に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧約10KV、資料電流 $1 \mu\text{A}$ 、ビームの移動速度0.2mm/sec、ビーム径 $60 \mu\text{m}$ 、真空度 $5.0 \times 10^{-5} \text{Torr}$ である。この電子線の照射により、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71は、それぞれ、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、抵抗率 $2 \Omega\text{cm}$ 、 $1 \Omega\text{cm}$ 、 $0.7 \Omega\text{cm}$ の p 伝導型半導体となった。このようにして多層構造のウエハが得られた。

【0020】次に、第2コンタクト層73の上に、フォトリソグラフにより、金属マスク層を形成し、金属マスク層によって覆われていない部位の第2コンタクト層73、第1コンタクト層72、クラッド層71、発光層5、 n 層42、 n 層41、 n 層4を BCl_3 ガスで供給しドライエッチングした後、 Ar でドライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度 n^+ 層3に対する電極取出しのための孔Aが形成された。その後、金属マスク層11を除去した。

【0021】次に、一様に Ni/Au の2層を蒸着し、フォトレジストの塗布、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て、第2コンタクト層73の上に透明電極9を形成した。そして、その透明電極9の一部に Ni/Au の2層を蒸着してパッド10を形成した。一方、 n^+ 層3に対しては、アルミニウムを蒸着して電極8を形成した。その後、上記のごとく処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図1に示す構造の発光ダイオードを得た。

【0022】この構造の発光ダイオード100の発光層5からの光のスペクトルは図2に示すようになり、420nmと570nmにピークを有する波形となった。これにより、図3に示すような色度図上において、互いに、補色関係にある光が放出されているのが分かる。420nmの発光は、発光層5の $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ 半導体のバンド端発光に当たり、570nmの発光は、発光層5の $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ 半導体に添加されたシリコンによるドナーレベルと亜鉛によるアクセプタレベル間のキャリアの遷移による発光に相当する。

【0023】尚、より精密な白色発光を得るためには、図3に示すように、V点発光の明度とU点発光の明度とで重み付けして、V点の色度座標とU点の色度座標とを平均した値が座標(1/3,1/3)になるように、設計すれば良い。

【0024】即ち、

$$\left\{ (x_v, y_v) \cdot M_v + (x_u, y_u) \cdot M_u \right\} / (M_v + M_u) = (1/3, 1/3)$$

但し、 (x_v, y_v) はV点の色度座標、 (x_u, y_u) はU点の色度座標、 M_v 、 M_u は、それぞれ、V点、U点の発光の明度である。又、V点、U点の発光輝度を I_v 、 I_u とする時に、 $M_v = I_v / y_v$ 、 $M_u = I_u / y_u$ でもある。

【0025】発光層5の厚さにより、バンド端発光の強度を制御でき、ドナー不純物とアクセプタ不純物の濃度により、不純物レベル間の発光強度を制御できる。

【0026】上記の実施例では、発光波長を420nmと570nmに設定したが、上記の数1式の関係が満たされるならば、他の波長との組み合わせでも、純粋な白色光を得ることができる。

【0027】尚、上記実施例では、発光層5の厚さを10nmとしているが、発光層5の厚さは、1~100nmの範囲でバンド端発光と不純物レベル間発光との強度を純粋な白色が得られる強度とすることができた。又、発光層5は単層としているが、単一又は多重の量子井戸構造としても良い。又、亜鉛とシリコンとの添加量は、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 範囲で不純物レベル間の遷移による発光が得られる。

【0028】上記実施例では、サファイア基板を用いたが SiC 、 MgAl_2O_4 等を用いることができる。又、バッファ層には AlN を用いたが AlGaIn 、 GaIn 、 InAlGaIn 等を用いることができる。さらに、 n 層4には、 GaIn を用いているが、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 等の3族窒化物半導体を用いることができる。同様に、クラッド層71、第1コンタクト層72、第2コンタクト層73も、任意混晶比の $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 等の3族窒化物半導体を用いることができる。又、アクセプタ不純物元素には亜鉛の他、2族元素又は、4族元素が、ドナー不純物元素にはシリコンの他、4族元素、6族元素を用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体的な実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図2】同実施例の発光ダイオードの発光層から光のスペクトルを表した測定図。

【図3】同実施例の発光ダイオードの色度の合成を示した説明図。

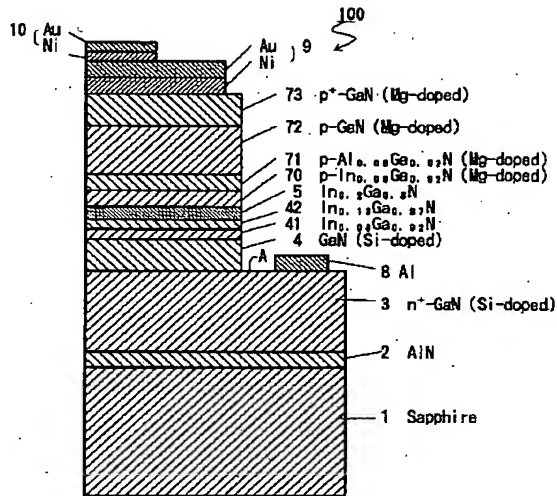
【符号の説明】

- 100…発光ダイオード
- 1…サファイア基板
- 2…バッファ層
- 3…高キャリア濃度 n^+ 層
- 4、41、42… n 層
- 5…発光層
- 71…クラッド層
- 72…第1コンタクト層

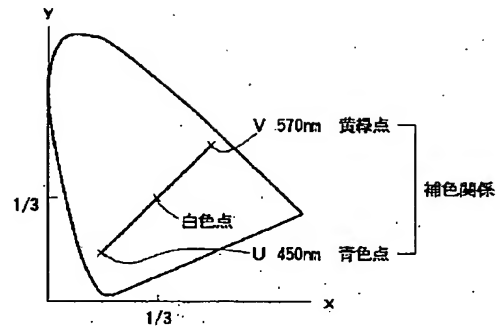
72...第2コンタクト層

9...透明電極

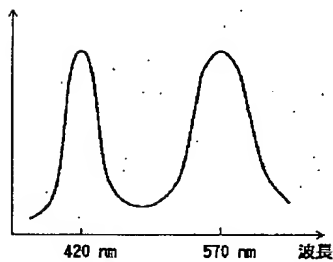
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 小出 典克
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 梅崎 潤一
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内